

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Umum

Sesuai dengan fungsinya, portal adalah suatu rangka struktur pada bangunan gedung haruslah mampu menahan beban-beban yang bekerja. Baik itu beban mati, beban hidup maupun beban sementara. Perilaku portal merupakan tumpuan utama bagi kekuatan bangunan dalam menjalankan fungsinya selama umur layannya, dalam keadaan umum, fungsional dan tetap memiliki nilai ekonomis dalam pembangunannya (Merati,1993).

Portal dengan sistem pengaku dipergunakan untuk mengurangi perpindahan lateral dan untuk memperoleh stabilitas struktur, dengan menggunakan sistem pengaku diharapkan dapat meningkatkan kekakuan portal secara keseluruhan sehingga lendutan yang disebabkan oleh beban gempa maupun angin dapat dibatasi. Sistem pengaku yang direncanakan hendaknya dapat menyerap energi akibat beban lateral yang terjadi dengan demikian sistem pengaku ini mengalami luluh terlebih dahulu sebelum portal mengalami kerusakan.

Dalam merencanakan struktur tahan gempa ada beberapa hal yang perlu dipelajari secara teliti dan seksama, pengetahuan tentang perilaku sistem pengaku adalah sangat diperlukan. Selain itu pengetahuan tentang karakteristik dari angin dan gerakan tanah saat terjadi gempa perlu pula dipelajari untuk mendesain suatu

struktur baja. Perencanaan sistem pengaku perlu pula mendapatkan perhatian dan ketelitian yang tinggi khususnya dalam perencanaan gedung bertingkat banyak, karena sistem pengaku memerlukan 1/3 dari biaya struktur, bahkan akan lebih jika sistem pengaku tidak direncanakan dengan baik (Englekirk. R, 1990).

2.2 Jenis-jenis Sistem Pengaku pada Struktur Portal

Jenis-jenis sistem pengaku telah banyak dikembangkan oleh para ahli dengan tujuan untuk memperkaku struktur baik dalam arah horizontal maupun pada arah vertikal. Sistem pengaku struktur baja yang telah dikembangkan untuk keperluan bangunan tinggi yang umumnya digunakan adalah rangka penahan momen, rangka diperkaku konsentrik dan rangka diperkaku eksentrik

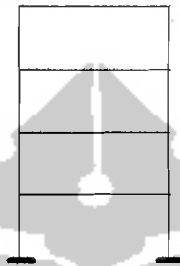
2.2.1 Portal dengan sistem pengaku penahan momen

Sistem rangka penahan momen (“momen resisting frame”) seperti gambar 2.1 haruslah bersifat kaku, sehingga tetap kuat, stabil dan aman selama umur pemakaian. Pada portal ini kekuatan, kekakuan dan kestabilan portal dalam menahan beban lateral yang terjadi sangat tergantung pada kemampuan dari masing-masing elemennya.

Pada portal dengan sistem pengaku rangka penahan momen, sambungan pada titik-titik buhul dengan masing-masing elemen haruslah kaku, sehingga kemampuan portal dalam menahan beban lateral dapat ditingkatkan. Sistem rangka penahan momen ini terdiri dari unsur-unsur struktur (selain dinding geser),

yang berfungsi menahan beban sebagai satu kesatuan tanpa adanya sistem pengaku (pengekang).

Pada ketinggian tertentu sistem ini sudah tidak ekonomis lagi karena simpangan yang cukup besar sehingga dimensi profil menjadi besar juga, maka sistem ini menjadi lebih mahal dari sistem lain. Namun keuntungan lainnya dari segi arsitektural memberikan keluwesan dalam penempatan pintu dan jendela.



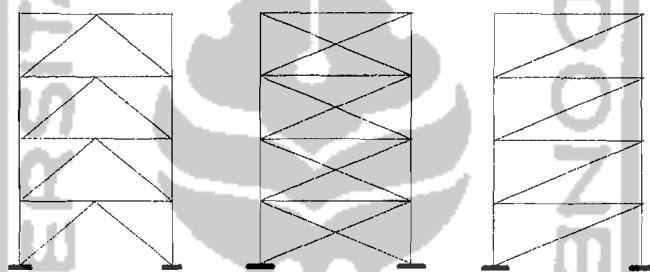
Gambar 2.1 Portal rangka penahan momen

2.2.2 Portal dengan sistem pengaku konsentrik

Rangka diperkaku konsentrik (“concentrically braced frame”), yaitu rangka struktur yang mempunyai sistem pengaku yang terletak pada diagonal setiap petak rangkanya. Rangka pengaku dengan batang-batang diagonal ini mempunyai tiga tipe, yaitu pengaku tipe Z, X dan V. Penempatan pengaku diagonal ini tidak hanya berada pada satu bentang (“bay”) saja, tetapi dapat pula dipasang pada beberapa bentang sejauh masih dipertimbangkan (Wahyudi.L, 1992).

Pada sistem pengaku konsentrik tipe Z, batang-batang diagonal dapat berfungsi sebagai batang tarik atau batang tekan tergantung pada pembebanannya. Untuk tipe X terdapat dua buah batang diagonal yang saling bersilangan. Batang-batang tersebut dapat menahan gaya tekan atau gaya tarik. Salah satu kelemahan

pengaku tipe X adalah batang-batang diagonalnya dapat menghalangi untuk penempatan pintu, jendela dan lain-lain. Sedangkan pengaku tipe V mempunyai beberapa keuntungan, antara lain balok portalnya memiliki tumpuan ditengah-tengah sehingga dimensi balok menjadi lebih kecil seperti pada gambar 2.2. Perlu diketahui bahwa batang diagonal selain mampu menahan beban lateral juga menerima beban vertikal yang mengakibatkan berkurangnya kemampuan pengaku untuk menahan beban lateral.

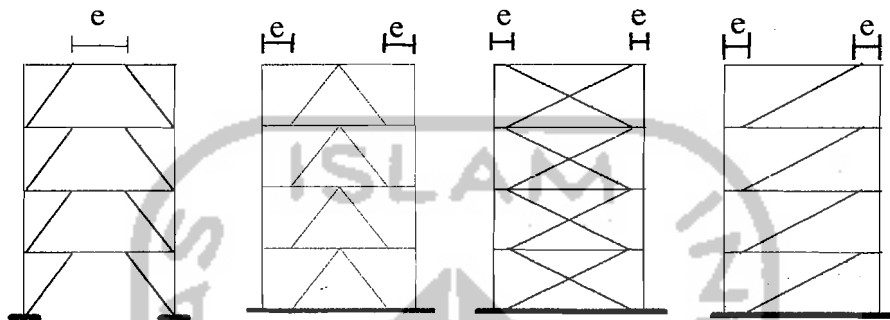


Gambar 2.2 Rangka portal dengan sistem pengaku konsentrik

2.2.3 Portal dengan sistem pengaku eksentrik

Rangka diperkaku eksentrik (“eccentrically braced frame”) adalah sistem pengaku yang diletakkan diagonal, akan tetapi salah satu atau kedua ujung batang pengaku terletak pada suatu jarak tertentu (cukup pendek) dari titik pertemuan balok dan kolom, seperti pada gambar 2.3. Sistem ini memberikan keuntungan arsitektural lebih baik daripada sistem rangka diperkaku konsentrik, karena pada sistem ini masih ada tempat-tempat yang cukup lapang untuk menempatkan lubang-lubang yang umum dibutuhkan. Sistem pengaku eksentrik memiliki respons yang paling baik dalam analisa plastis, ketika menerima beban gempa.

Kunci keberhasilan adalah terletak pada kemampuan menyerap energi yang sangat besar dan sangat konsisten sampai sejumlah putaran (“cycle”) yang cukup tinggi (K.David, 1988), (Balendra.T,dkk, 1987).



Gambar 2.3 Rangka portal dengan sistem pengaku eksentrik.

2.3 Simpangan Lateral

Suatu portal diasumsikan sebagai suatu kolom akan mengalami lendutan bila menerima beban lateral. Besarnya lendutan itu tergantung dari beban vertikal dan besarnya beban lateral yang terjadi.

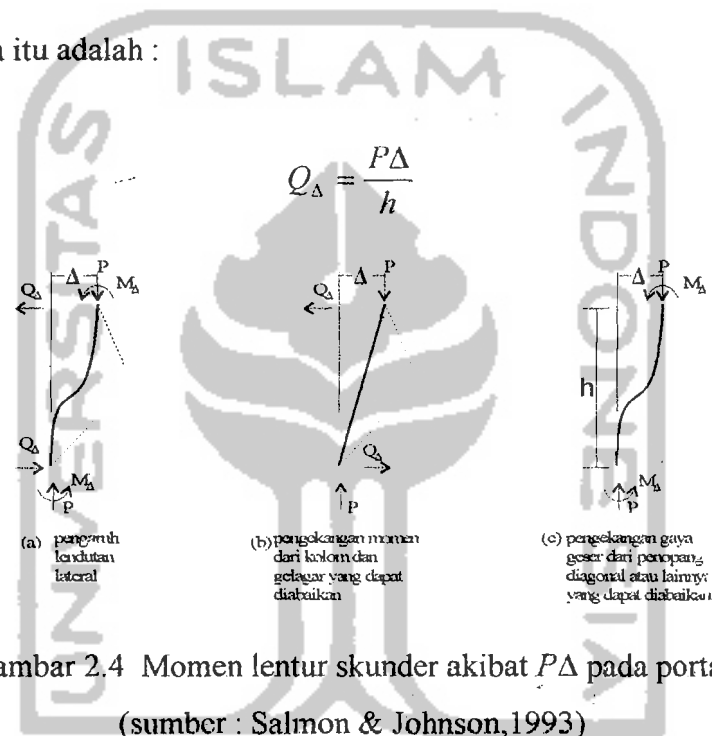
Pada gambar 2.4 memperlihatkan gaya-gaya yang timbul pada batang kolom portal akibat lendutan lateral (kearah samping) yang disebabkan oleh gaya horizontal. Momen (M_{Δ}) dan gaya geser (Q_{Δ}) adalah bagian dari momen dan gaya geser yang diperlukan untuk mengimbangi momen $P\Delta$. Syarat keseimbangan untuk keadaan pada gambar 2.4 .a adalah :

$$P\Delta = Q_{\Delta} \cdot h + 2M_{\Delta}$$

Pada portal akan terjadi simpangan akibat dari beban lateral tanpa memandang komponen-komponen batangnya. Namun cara mempertahankan

keseimbangan terhadap momen $P\Delta$ berlainan, tergantung pada kondisi pengekangan (“restraint”). Gedung dengan rangka batang vertikal yang bertitik tumpu sendi, pada pembebanan lateral gedung tersebut tidak memiliki kontinuitas di tumpuannya sehingga momen tidak terjadi, lihat gambar 2.4.b, sedangkan batang diagonal dan horizontal harus memikul semua gaya geser Q_{Δ} .

Keseimbangan itu adalah :



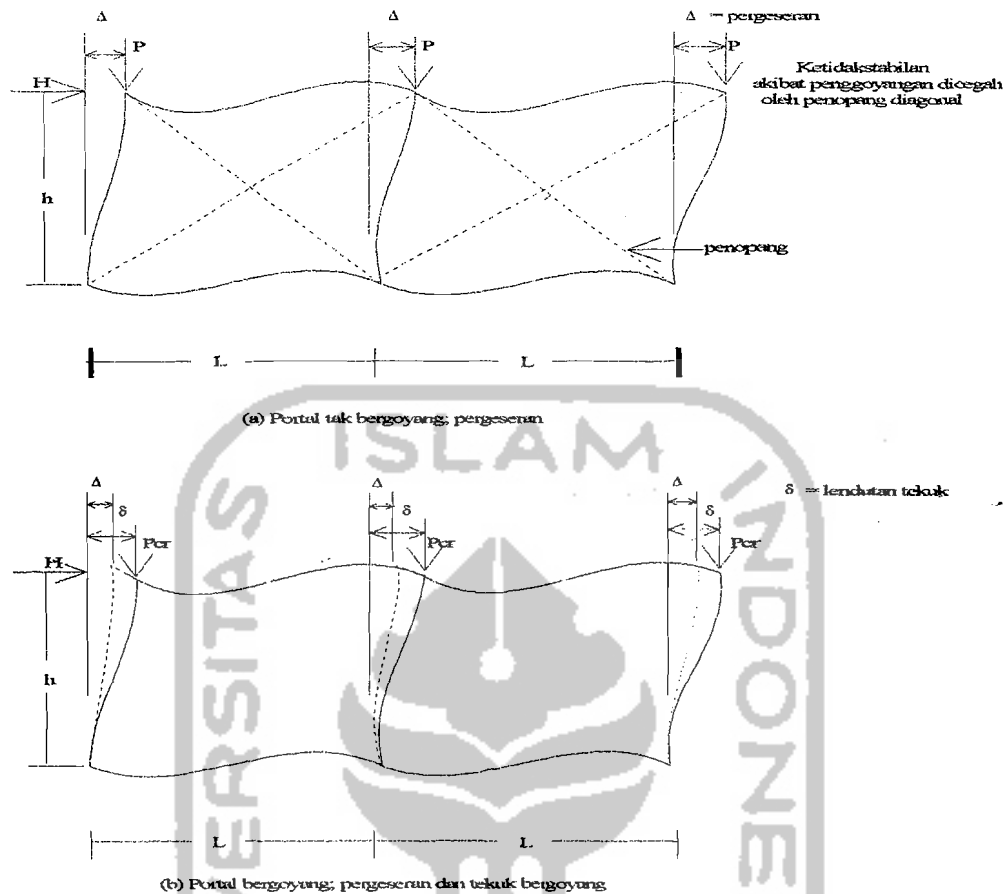
Gambar 2.4 Momen lentur skunder akibat $P\Delta$ pada portal

(sumber : Salmon & Johnson, 1993)

Sebaliknya, jika batang-batang disambung secara kaku tanpa batang diagonal, daya tahan terhadap geser akan sangat kecil. Dengan mengabaikan daya tahan geser (shear resistance).

$$M_{\Delta} = \frac{P \cdot \Delta}{2}$$

lihat gambar 2.4.c. Dalam hal ini gelagar dan kolom harus memikul momen M_{Δ} .



Gambar 2.5. Perbandingan antara portal tak bergoyang dan bergoyang

(Sumber :Salmon & Johnson,1993)

2.4 Beban lateral

Beban lateral adalah beban yang terjadi pada arah horizontal gedung. Beban lateral tersebut bekerja pada arah tegak lurus bidang vertikal. Beban lateral dapat berupa beban angin dan beban gempa, pada tugas akhir ini beban lateral yang digunakan adalah beban gempa. Dengan adanya beban lateral dapat menyebabkan konstruksi mengalami lendutan searah gaya lateral yang mengakibatkan terjadinya simpangan. Dan apabila simpangan yang terjadi melebihi batas tegangannya, struktur tersebut akan rusak dan tidak dapat memenuhi masa layannya.

2.4.1 Beban angin

Angin adalah gerakan yang berupa perpindahan massa udara ke arah horizontal seperti halnya vektor yang dapat dinyatakan dengan arah dan kecepatan perpindahan angin. Pengertian angin ini tidak ada perpindahan massa udara ke arah vertikal tetapi skala ruangnya hanya seperseratusribu dari skala defleksi horizontalnya (Suparjo, P 1995).

Beban angin adalah beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Dalam Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983, beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isap), yang bekerja tegak lurus pada bidang yang ditinjau. Tekanan tiup minimum harus diambil sebesar 25 kg/m^2 , sedang secara umum tekanan tiup merupakan fungsi dari kecepatan angin. Koefisien pengaruh ditentukan berdasar bentuk bidang yang terkena tiupan atau isapan angin.

2.4.2 Beban gempa

Pada prinsipnya beban gempa bukanlah suatu beban yang secara fisik bekerja pada bangunan, melainkan beban inersia yang diakibatkan oleh massanya sendiri dikalikan dengan gaya gempa. Karena percepatan gempa bersifat dinamik dan bolak-balik maka kekuatan portal hendaknya dapat menanggulangi keadaan tersebut.

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa. Pengaruh gempa pada struktur gedung, ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamis, maka yang diartikan dengan beban gempa itu sendiri adalah gaya-gaya didalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu (PPI, 1983).

2.5 Analisa Beban Statik Ekuivalen

Mengacu pada buku Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung 1981, analisa beban statik ekuivalen merupakan cara pendekatan dari cara analisa dinamik dalam menentukan dan mendistribusikan beban gempa pada tiap lantai. Dalam analisa beban statik ekuivalen, beban gempa yang didistribusikan pada tiap lantai sangat dipengaruhi oleh massa gedung. Penambahan besar massa akan memperbesar beban gempa, sehingga penggunaan struktur yang ringan merupakan penyelesaian yang disarankan pada bangunan yang sering dilanda gempa.

Untuk perhitungan beban statik ekuivalen, rumus umum yang digunakan seperti yang terdapat pada buku (PPTGUG,1981) sebagai berikut :

Untuk waktu getar gedung dapat dihitung pada awal perencanaan dengan rumus seperti berikut :

$$T = 0,085 \times H^{3/4} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana : T = waktu getar (detik),

H = tinggi total struktur (m).

Menentukan gaya geser dasar horizontal sebagai berikut :

$$V = C.I.K.W_t \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana : V = gaya geser dasar horizontal (kg),

C = koefisien gempa dasar,

I = faktor keutamaan gedung,

K = faktor jenis struktur,

W_t = berat total struktur (kg).

Beban gempa yang diperoleh lalu didistribusikan ketiap lantai sepanjang tinggi gedung dengan rumus sebagai berikut :

$$F_i = \frac{W_i \times h_i}{\sum W_i \times h_i} V \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana : F_i = beban gempa horizontal yang terpusat pada lantai i (kg),

h_i = tinggi lantai i dari titik penjepitan tanah (m).

Pendistribusian beban gempa sepanjang tingkat gedung harus memenuhi ketentuan yang telah ditetapkan. Perbandingan antara tinggi dan lebar gedung lebih besar dari 3 (H/B ≥ 3) maka 0.1 V dianggap terpusat di lantai puncak (atap). Kemudian sisanya 0.9 V didistribusikan menurut rumus (2.3)

Setelah ukuran elemen-elemen struktur telah ditetapkan kemudian waktu getar gedung harus dihitung kembali dengan rumus sebagai berikut :

$$T = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \times \delta_i^2}{g \times \sum F_i \times \delta_i}} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana : W_i = beban vertikal pada lantai i yang digunakan dalam perhitungan

beban gempa (kg),

δ_i = lendutan horizontal lantai,

F_i = beban gempa horizontal pada lantai i (kg),

g = percepatan gravitasi (mm/detik^2).

Bila ternyata waktu getar yang dihitung dengan rumus (2.4) ini lebih kecil 80% dari waktu getar hitungan pertama (rumus 2.2) maka beban gempa harus dihitung dengan menggunakan waktu getar yang baru pada rumus (2.4).

Dalam perhitungan beban gempa horizontal atau analisa beban statik ekuivalen pada tugas akhir ini, wilayah gempa ditetapkan pada wilayah I dan pada jenis tanah keras, sementara berat total struktur portal disesuaikan dengan setiap jenis portal yang ditinjau dimana berat pengaku diperhitungkan.

2.6 Program Komputer

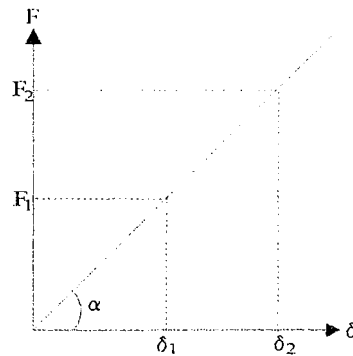
Program komputer yang dipakai pada penyelesaian tugas akhir ini adalah program SAP 90. Program ini adalah suatu program untuk menghitung analisa struktur yang menggunakan program ANSI Fortran-77. SAP 80 yang telah diperbaharui. Program SAP 90 dikembangkan oleh Profesor Edward L. Wilson lebih dari 25 tahun di Universitas California, Berkley, USA (Asrharf.H, 1990). Perhitungan program SAP 90 menggunakan Finite Element Analysis untuk menghasilkan analisa statik dan analisa yang mengacu pada AISC 1989.

Hasil hitungan ditulis dalam bentuk tabel-tabel berupa besar simpangan dan gaya geser dasar yang mengacu pada hitungan analisa elastis, sehingga dapat dipakai sebagai data untuk analisis didalam pembahasan penulisan tugas akhir ini.

2.7 Analisa Kekakuan Tingkat pada Struktur Portal

Dalam perencanaan bangunan tingkat tinggi, lendutan yang terjadi akibat beban lateral merupakan permasalahan utama yang dijadikan batasan untuk perhitungan elemen-elemen struktur selanjutnya. Agar lendutan yang terjadi tidak melebihi lendutan yang ditetapkan, salah satu cara yang digunakan adalah membuat struktur memiliki kekakuan yang dapat menahan atau mengurangi lendutan akibat beban lateral tersebut. Pembatasan kekakuan ini dilakukan untuk menjaga agar kestabilan struktur tetap aman dalam masa layannya.

Pada umumnya struktur dianggap elastis sempurna, artinya bila suatu struktur melendut 1mm oleh beban 100 kg, maka struktur tersebut akan melendut sebesar 2 mm jika dibebani dengan beban 200 kg. Hubungan beban dan lendutan dalam hitungan struktur yang dianggap elastis sempurna berupa hubungan linear seperti pada gambar 2.6. Sudut kemiringan hubungan antara beban dan lendutan itu disebut nilai kekakuan, semakin kaku suatu struktur maka semakin besar nilai kekakuan tersebut (Kardiyono,1992).



Gambar 2.6 Grafik struktur elastis sempurna.

Portal terbuka adalah portal segi empat yang terdiri dari kolom dan balok yang mempunyai hubungan monolit membentuk ruangan yang besar dan memberikan daya tahan horizontal pada kerangka secara keseluruhan (Kiyosi Muto, 1974). Portal yang terdiri dari banyak tingkat akan memiliki kekakuan tingkat yang berbeda oleh karena pembebanan dan dimensi elemen-elemen portal yang berbeda baik akibat beban mati, beban hidup maupun beban lateral. Kekakuan tingkat adalah gaya horizontal yang diperlukan agar lantai melendut horizontal sebesar satu-satuan panjang terhadap lantai dibawahnya (Kardiyono, 1992). Kekakuan tingkat dapat dihitung dengan menentukan besar gaya geser tingkat terhadap lendutan yang terjadi pada tingkat tersebut.

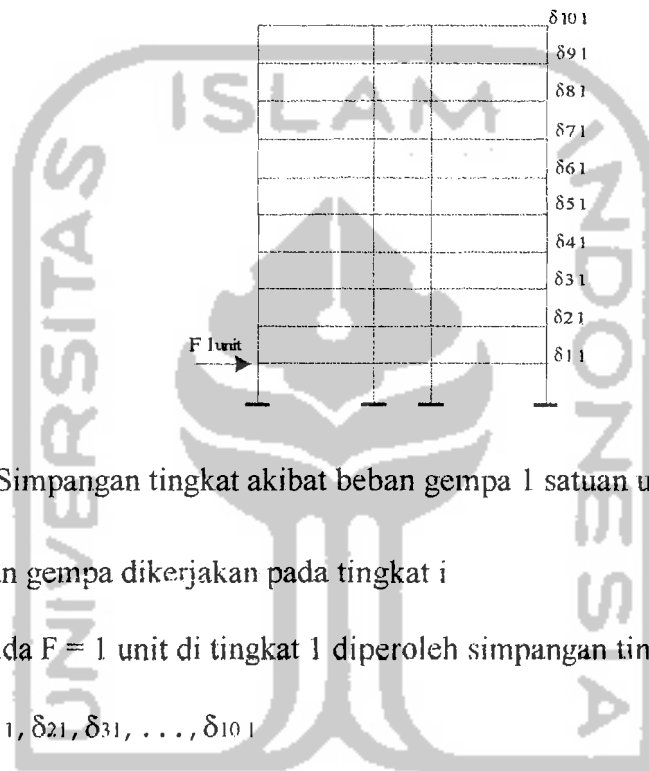
$$F_i = K_i \cdot \delta_i \dots \dots \dots (2.5)$$

dimana : F_i = gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa pada tingkat i ,

K_i = kekakuan tingkat pada tingkat i ,

δ_i = simpangan tingkat pada tingkat i .

Perhitungan kekakuan tingkat dilakukan berdasarkan dari hasil-hasil simpangan yang dihasilkan dari program SAP'90 dari model-model struktur portal yang ditinjau. Untuk langkah-langkah perhitungan kekakuan tingkat dapat diuraikan berdasarkan gambar 2.7.



Gambar 2.7 Simpangan tingkat akibat beban gempa 1 satuan unit pada lantai 1

1. Beban gempa dikerjakan pada tingkat i

a. Pada $F = 1$ unit di tingkat 1 diperoleh simpangan tingkat :

$$\delta_{11}, \delta_{21}, \delta_{31}, \dots, \delta_{101}$$

b. Pada $F = 1$ unit di tingkat 2 diperoleh simpangan tingkat :

$$\delta_{12}, \delta_{22}, \delta_{32}, \dots, \delta_{102}$$

c. Pada $F = 1$ unit di tingkat i diperoleh simpangan tingkat :

$$\delta_{1n}, \delta_{2n}, \delta_{3n}, \dots, \delta_{10n}$$

Dan seterusnya dilakukan perhitungan sampai pada tingkat berikutnya.

2. Menyusun simpangan tingkat dalam bentuk matrik.

Dari simpangan tingkat yang diperoleh dari perhitungan langkah 1 dapat dibuat matrik simpangannya sebagai berikut :

$$[\delta] = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \delta_{13} & \dots & \delta_{1p} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \delta_{23} & \dots & \delta_{2p} \\ \delta_{31} & \delta_{32} & \delta_{33} & \dots & \delta_{3p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{m1} & \delta_{m2} & \delta_{m3} & \dots & \delta_{mp} \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.6)$$

3. Menghitung kekakuan tingkat dalam bentuk matrik.

Matrik kekakuan didapat dari hasil invers matrik simpangan tingkat sebagai berikut :

$[K] = [\delta]^{-1}$ atau dalam bentuk kekakuan,

$$[K] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & \dots & k_{2n} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & \dots & k_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{m1} & k_{m2} & k_{m3} & \dots & k_{mn} \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.7)$$

4. Menghitung kekakuan tingkat pada tiap lantai.

Dari hasil matrik kekakuan tersebut diatas maka dapat dihitung kekakuan yang terjadi pada tiap tingkat sebagai berikut :

a. $K_{10} = k_{10\ 10}$

b. $K_9 = k_{9\ 9} - K_{10}$

c. $K_i = k_{m\ n} - K_{(i+1)} \dots \dots \dots (2.8)$

Untuk perhitungan kekakuan tingkat dilakukan pada setiap 2 tingkat dari struktur portal untuk setiap jenis portal yang digunakan sebagai analisa dalam tugas akhir. Hasil perhitungan kekakuan tingkat dari setiap jenis portal yang ditinjau disajikan dalam bentuk tabel-tabel kemudian dibuat grafik hubungan dari setiap jenis portal dan grafik gabungannya, lalu dilakukan perbandingan-perbandingan serta pembahasan sehingga dapat ditarik suatu kesimpulan yang bermanfaat.

